

УДК 581.192

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *ERICACEAE* JUSS. В ВЫСОТНОМ ГРАДИЕНТЕ г. ЮМЕЧОРР ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА

© Л.Н. Середа¹*, А.А. Койгерова¹, Н.С. Цветов¹, Н.А. Артёмкина²

¹ Научный центр медико-биологических исследований адаптации человека
в Арктике ФИЦ КНЦ РАН, ул. Академгородок, 41а, Апатиты, 184209,
Россия, sundukpandory87@mail.ru

² Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН,
ул. Академгородок, 14а, Апатиты, 184209, Россия

Абиотические факторы, такие как солнечная радиация, высотная поясность, гидротермальный режим, химический состав почвы, оказывают значительное влияние на накопление вторичных метаболитов. В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение вариативности содержания фенольных соединений в экстрактах листьев представителей семейства вересковых, произрастающих в высотном градиенте юго-западной экспозиции склона г. Юмечорр Хибинского горного массива (Мурманская область). Объектами исследования служили вегетативные органы растений вороники обоеполой (*Empetrum hermaphroditum* Hager. (syn.: *Empetrum nigrum* subsp. *hermaphroditum* (Hagerup) Böcher (World Flora Online, id: wfo-0000667247)), толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубики обыкновенной (*Vaccinium uliginosum* L.), черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) семейства вересковых (*Ericaceae* Juss.). Отмечено влияние условий произрастания на видовое разнообразие и флористическое сходство растительных поясов. Экстракты получены методом мацерации водно-спиртовой смесью с содержанием 80 об.% этанола. Проведен анализ вариативности содержания биологически активных соединений. Определено содержание полифенольных компонентов в вегетативных органах растений. Установлено отсутствие четкой линейной зависимости влияния высоты над уровнем моря на содержание фенольных соединений. Экстракты вегетативных органов исследуемых растений могут быть рекомендованы как перспективный источник биоактивных соединений.

Ключевые слова: *Ericaceae* Juss., высотный градиент, экстракция, биологически активные вещества, Арктика.

Для цитирования: Середа Л.Н., Койгерова А.А., Цветов Н.С., Артёмкина Н.А. Вариативность содержания фенольных соединений в вегетативных органах представителей семейства *Ericaceae* Juss. в высотном градиенте г. Юмечорр Хибинского горного массива // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 311–319. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250316337>.

Введение

Географическое положение и климат – факторы, оказывающие значительное влияние на накопление вторичных метаболитов. Интенсивное воздействие солнечной радиации, высотная поясность, гидротермальный режим, тип и химический состав почвы, эвапотранспирация обуславливают повышенный синтез фенольных соединений в качестве ответа на абиотический стресс, формируя высокую лекарственную ценность растений [1].

В качестве модельной территории для оценки вариативности содержания биологически активных соединений в экстрактах кустарничковых растений семейства вересковых (*Ericaceae* Juss.) в высотном градиенте была выбрана юго-западная (Ю-З) экспозиция склона г. Юмечорр Хибинского горного массива с четко выраженной сменой растительных поясов, соответствующих широтной зональности Мурманской области и изменению климатических показателей по горному профилю, обусловленных воздействием циркуляционных факторов атмосферы [2].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Вороника обоеполая (*Empetrum hermaphroditum* Hager. по [3] (syn.: *Empetrum nigrum subsp. hermaphroditum* (Hagerup) Böcher (World Flora Online, id: wfo-0000667247)), толокнянка обыкновенная (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) – кустарничковые обильно плодоносящие гипоарктические виды семейства вересковых с широкой экологической амплитудой, произрастающие на всей территории Мурманской области [4]. Все органы растений являются источниками фенольных соединений, включая фенолы и их гликозиды, фенольные и гидроксикоричные кислоты, антоцианы, проантоцианидины, тритерпены [5–10], обуславливающие их значимость для здоровья человека и использование в пищевой, косметологической и фармацевтической промышленности.

В связи с повышенной актуальностью исследований по влиянию климатических условий на биосинтез фенольных соединений представляло интерес изучить вариабельность содержания фенольных соединений в экстрактах листьев представителей семейства вересковых, произрастающих в высотном градиенте юго-западной экспозиции склона г. Юмечорр Хибинского горного массива.

Экспериментальная часть

Объектами исследования служили вегетативные органы растений вороники обоеполой (*Empetrum hermaphroditum* Hager.), толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубики обыкновенной (*Vaccinium uliginosum* L.), черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.). Сбор листьев растений производился в I декаде августа 2021 г. на 5 пробных площадках (табл.): ельнике кустарничково-зеленомошном (314 м н.у.м.), сосняке лишайниково-кустарничковом (351 м н.у.м.), березовом кустарничковом редколесье (372 м н.у.м.), кустарничково-лишайниковой горной тундре (437 м н.у.м.) и каменисто-кустарничково-лишайниковой горной тундре (605 м н.у.м.), в поясе еловых и сосновых лесов, березовых криволесий (лесотундр) и тундр, соответственно, на Ю-З экспозиции склона г. Юмечорр Хибинского горного массива (Мурманская область).

Подготовка растительного материала включала в себя сушку на открытом воздухе, хранение [11], измельчение непосредственно перед экстрагированием и ситование. Для получения экстрактов использовался растительный материал, измельченный до величины фракций, проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 1 мм.

Экстрагирование проводилось методом мацерации в течение 24 ч при 25 °С. Навеска (0.150 г) растительного материала помещалась в колбу, смешивалась с 10 мл водно-спиртовой смеси, содержащей 80 об.% этанола с последующим центрифугированием и доведением полученных экстрактов до первоначального объема экстрагентом.

Общее содержание полифенолов (total phenolic content (TPC)) определялось по реакции с реактивом Фолина-Чокалтеу, общее содержание флавоноидов (total flavonoid content (TFC)) – по реакции комплексообразования с хлоридом алюминия, общая антиоксидантная активность (total antioxidant capacity (TAC)) – фосфомолибдатным методом с образованием молибденовых синей в пересчете на мг эквивалента галловой кислоты (gallic acid equivalent (GAE)), рутина (rutin equivalent (RE)), аскорбиновой кислоты (ascorbic acid equivalent (AAE)), соответственно, на 1 г сухого растительного материала, соответственно, степень ингибирования (inhibition (I)) свободного радикала – по реакции со свободным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом в % с доработками [12–14]. Все химические анализы проводились в 5-кратной повторности с использованием экстрактов, разбавленных экстрагентом в 20 раз (для определения I – в 40 раз), для растений вороники – в 10 раз (для определения I – в 40 раз).

Оптическая плотность растворов измерялась на фотоколориметре КФК-3-01 (ЗОМЗ, Россия) при длинах волн 765, 420, 805 и 517 нм соответственно.

Полученные данные представлены в виде средних значений \pm стандартное отклонение и в %. Статистическая значимость различий обсуждаемых результатов оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа с последующим применением теста Тьюки при уровне значимости (p -value) ≤ 0.05 . Коэффициент корреляции (r) определялся по методу Пирсона. Расчеты производились в MS Excel 2021 (Microsoft, США).

Флористический состав растительных сообществ Ю-З экспозиции склона г. Юмечорр

Тип растительного сообщества	Высота над уровнем моря, м	Произрастающие виды
Каменисто-кустарничково-лишайниковая горная тундра	605	<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i>
Кустарничково-лишайниковая горная тундра	437	<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>V. myrtillus</i>
Березовое кустарничковое редколесье	372	<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>V. myrtillus</i>
Сосняк лишайниково-кустарничковый	351	<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>V. myrtillus</i>
Ельник кустарничково-зеленомошный	314	<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>V. uliginosum</i> , <i>V. myrtillus</i>

Результаты и обсуждение

Флористическое разнообразие. Проведенный анализ флористического разнообразия (табл.) Ю-З экспозиции склона г. Юмечорр выявил видовую неоднородность. Для всех пяти исследуемых сообществ характерно присутствие растений вороники и голубики, растения брусники отмечены только в ельнике кустарничково-зеленомошном, растения толокнянки произрастают в трех фитоценозах: березовом кустарничковом редколесье, тундре лишайниково-кустарничковой и каменисто-кустарничково-лишайниковой горной тундре, растения черники – во всех сообществах, кроме каменисто-кустарничково-лишайниковой горной тундры. Наблюдаемые закономерности видового распределения указывают на видоспецифическую адаптацию к различным условиям окружающей среды [15], верхние и нижние диапазоны высот обеспечивают пограничные для исследуемого вертикального градиента значения температуры и количества осадков, снижая видовое разнообразие и создавая эффект средней области [16].

Содержание фенольных соединений. Результаты анализа содержания фенольных соединений в экстрактах листьев исследуемых видов и достоверность различий в отношении высотного градиента представлены на рисунке.

Как видно, содержание полифенольных компонентов в полученных экстрактах варьировало в пределах $73.9 \pm 7.1 - 143.1 \pm 8.4$ мг ГАЕ/г для растений вороники, $295.1 \pm 17.4 - 312.2 \pm 10.5$ мг ГАЕ/г – для растений толокнянки, 181.0 ± 46.5 мг ГАЕ/г – для растений брусники, для растений голубики и черники, отмечено близкое содержание полифенолов $101.2 \pm 21.6 - 164.6 \pm 6.8$ и $116.4 \pm 25.0 - 175.6 \pm 26.6$ мг ГАЕ/г соответственно. Максимальное содержание полифенольных соединений отмечено в экстрактах листьев растений толокнянки (312.2 ± 10.5 мг ГАЕ/г), произрастающей в тундре лишайниково-кустарничковой, минимальное – вороники (73.9 ± 7.1 мг ГАЕ/г), произрастающей в сосняке лишайниково-кустарничковом. Общее содержание флавоноидов в экстрактах растений вороники и толокнянки было близким и находилось в пределах $24.5 \pm 2.1 - 40.4 \pm 2.2$ и $35.8 \pm 3.3 - 42.0 \pm 1.9$ мг РЕ/г соответственно, для представителей рода *Vaccinium* L. – брусники, голубики и черники – 51.4 ± 8.9 , $46.2 \pm 2.2 - 93.0 \pm 20.1$, $55.5 \pm 3.4 - 72.1 \pm 6.9$ мг РЕ/г соответственно. Наибольшая и наименьшая концентрация фенольных компонентов зафиксирована в экстрактах листьев растений голубики (93.0 ± 20.1 и 46.2 ± 2.2 мг РЕ/г соответственно), произрастающей в сообществах каменисто-кустарничково-лишайниковой горной тундры и ельнике кустарничково-зеленомошном соответственно.

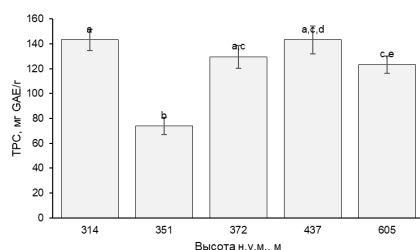
Антиоксидантная активность. Общая антиоксидантная активность в экстрактах вегетативных органов исследуемых видов (рис.) изменялась в пределах $52.7 \pm 5.4 - 75.5 \pm 8.5$ мг ААЕ/г для растений вороники, $158.1 \pm 17.0 - 178.3 \pm 17.5$ мг ААЕ/г – для растений толокнянки, 235.1 ± 36.6 мг ААЕ/г – для растений брусники, и имела близкие значения $175.6 \pm 21.5 - 252.3 \pm 19.3$ и $155.6 \pm 18.1 - 250.7 \pm 38.2$ мг ААЕ/г для растений голубики и черники соответственно. Максимальное содержание веществ, обладающих антиоксидантной активностью, отмечено для растений голубики (252.3 ± 19.3 мг ААЕ/г), произрастающей в кустарничково-лишайниковой горной тундре, минимальное – для растений вороники (52.7 ± 5.4 мг ААЕ/г), произрастающей в каменисто-кустарничково-лишайниковой горной тундре. Значения степени ингибирования свободных радикалов находились в диапазоне $8.6 \pm 2.0 - 20.8 \pm 1.3\%$ для растений вороники, $53.0 \pm 3.2 - 59.9 \pm 3.1\%$ – для растений толокнянки, $30.4 \pm 8.3\%$ – для растений брусники, $15.6 \pm 9.9 - 43.1 \pm 2.2\%$ – для растений голубики, $20.3 \pm 6.0 - 37.0 \pm 7.2\%$ – для растений черники. Наибольшим антирадикальным потенциалом обладали экстракты листьев растений толокнянки ($59.9 \pm 3.1\%$), наименьшим – вороники ($8.6 \pm 2.0\%$), произрастающих в березовом кустарничковом редколесье и сосняке лишайниково-кустарничковом соответственно.

Данные многолетних исследований разных авторов свидетельствуют о влиянии условий произрастания на синтез вторичных метаболитов. Сообщалось, что с увеличением абсолютной высоты повышается концентрация фенольных соединений в различных органах исследуемых видов [1, 17–23]. Однако полученные в ходе исследования результаты не были полностью обусловлены биоклиматическими особенностями произрастания. В целом, для большинства исследуемых видов содержание суммы метаболитов и проявляемых ими активностей от абсолютной высоты достоверно ($p \leq 0.05$) изменялось лишь до отметки 437 м н.у.м. – тундра лишайниково-кустарничковая, характеризующейся произрастанием видов, в экстрактах листьев которых отмечено максимальное содержание фенольных соединений. Исключением является содержание флавоноидов и соединений, обладающих антирадикальной активностью в экстрактах листьев голубики, вороники и черники, соответственно.

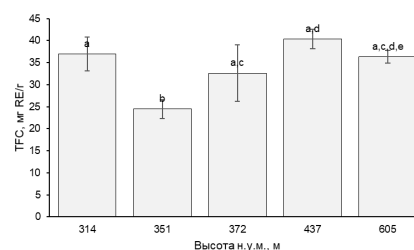
Проведенный корреляционный анализ показал достаточно значительную ($r=0.9$) взаимосвязь содержания флавоноидных компонентов в экстрактах листьев растений голубики и среднюю ($r=0.5$ и $r=0.6$) – для группы веществ, оказывающих защиту от антирадикального стресса для растений вороники и черники, соответственно, с высотой произрастания вида.

Также интересно отметить, что минимальные содержание полифенольных компонентов (101.2 ± 21.6 мг GAE/г) и степень ингибирования свободных радикалов ($15.6 \pm 9.9\%$) определено в экстрактах растений голубики, произрастающей на верхней границе (605 м н.у.м.) высотного градиента.

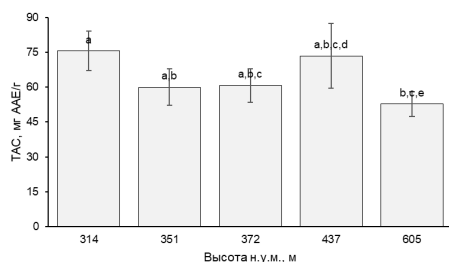
Результаты исследования указывают на наличие значимой тенденции зависимости содержания фенольных соединений в полученных экстрактах от высоты над уровнем моря для большинства исследованных видов растений, однако четкой линейной зависимости не выявлено.



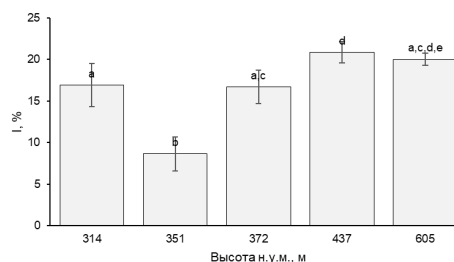
1.a



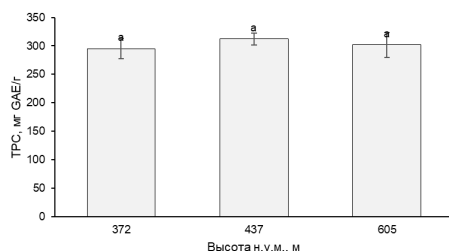
1.б



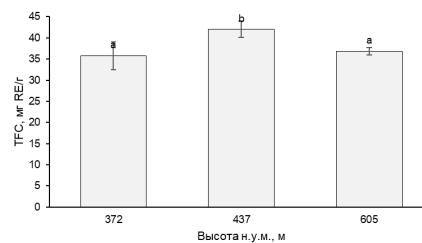
1.в



1.г

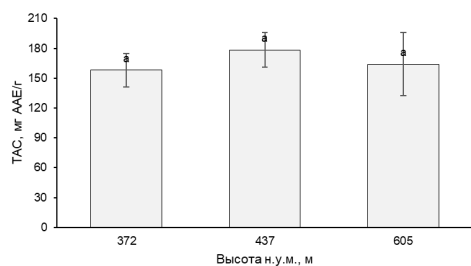


2.a

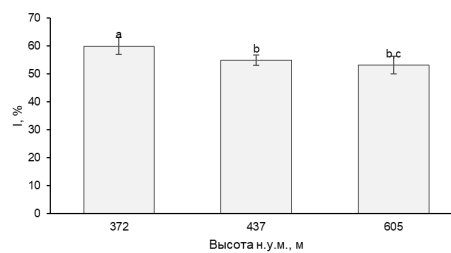


2.б

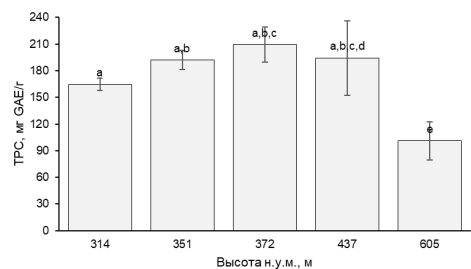
Общее содержание полифенолов (а), флавоноидов (б), общей антиоксидантной активности (в) и степени ингибирования свободных радикалов (г) в экстрактах листьев вороники обоеполой (1), толокнянки обыкновенной (2), голубики обыкновенной (3) и черники обыкновенной (4) в высотном градиенте Ю-З экспозиции склона г. Юмечорр



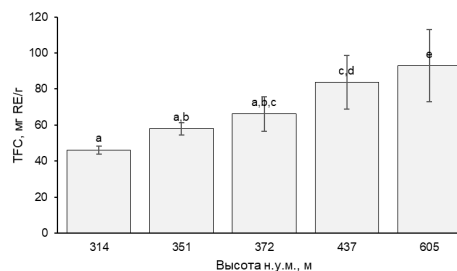
2.6



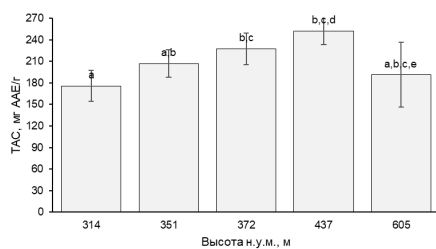
2.2



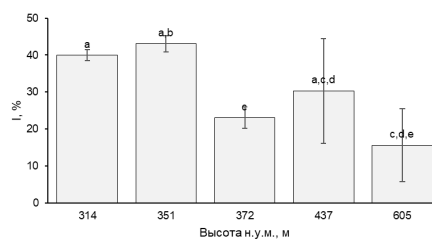
3.a



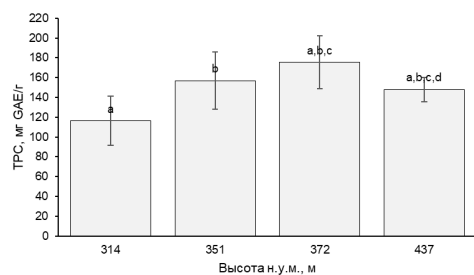
3.6



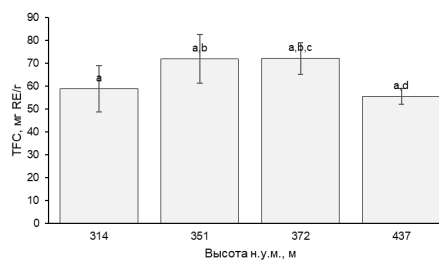
3.6



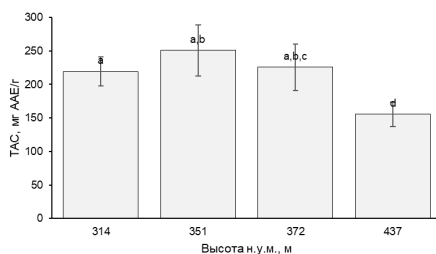
3.2



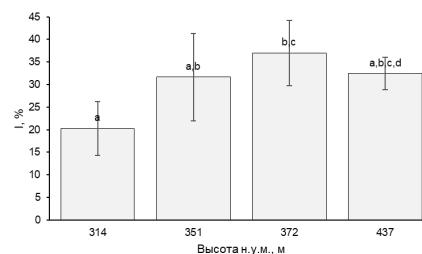
4.a



4.6



4.6



4.2

Общее содержание полифенолов (а), флавоноидов (б), общей антиоксидантной активности (в) и степени ингибирования свободных радикалов (г) в экстрактах листьев вороники обоеполой (1), толокнянки обыкновенной (2), голубики обыкновенной (3) и черники обыкновенной (4) в высотном градиенте Ю-3 экспозиции склона г. Юмечорр (Окончание)

Выводы

Проведено изучение вариабельности содержания биологически активных соединений в экстрактах вегетативных органов представителей семейства Ericaceae Juss., произрастающих в высотном градиенте юго-западной экспозиции склона г. Юмечорр Хибинского горного массива. Установлено, что с увеличением абсолютной высоты уменьшается общее видовое разнообразие и флористическое сходство между поясами. Отмечена значимая тенденции влияния высоты над уровнем моря на содержание фенольных соединений в полученных экстрактах, однако, четкой линейной зависимости не выявлено. Экстракты вегетативных органов исследуемых растений могут быть рекомендованы как перспективный источник полифенольных компонентов для использования в фармацевтической и косметологической промышленности.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета института (Федеральный Исследовательский Центр «Кольский Научный Центр» РАН (№ FMEZ-2025-0064 и № 1023032200043-6). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Urbonaviciene D., Bobinaite R., Viskelis P., Viskelis J., Petruskevicius A., Puzeryte V., Cesoniene L., Daubaras R., Klavins L., Bobinas C. Nutritional and Physicochemical Properties of Wild Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – Effects of Geographic Origin // *Molecules*. 2023. Vol. 28, no. 12. <https://doi.org/10.3390/molecules28124589>.
2. Артёмкина Н.А., Сухарева Т.А., Иванова Е.А., Смирнов В.Э. Содержание элементов питания, лигнина и целлюлозы в растениях и лишайниках в высотном градиенте лес-тундра горы Юмечорр Хибинского горного массива // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2023. Т. 68, №1. С. 153–170. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.109>.
3. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб, 1995. 990 с.
4. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л., 1983. 216 с.
5. Lorion J., Small E. Crowberry (*Empetrum*): A Chief Arctic Traditional Indigenous Fruit in Need of Economic and Ecological Management // *The Botanical Review*. 2021. Vol. 87, no. 3. Pp. 259–310. <https://doi.org/10.1007/s12229-021-09248-0>.
6. Bezverkhniia E.A., Ermilova E.V., Kadyrova T.V., Krasnov E.A., Brazovskii K.S., Ponkratova A.O., Luzhanin V.G., Belousov M.V. Bezverkhniia E. Phytochemistry, ethnopharmacology and pharmacology of the genus *Empetrum*: A review // *Advances in Traditional Medicine*. 2023. Vol. 23, no. 3. Pp. 659–672. <https://doi.org/10.1007/s13596-021-00612-4>.
7. Song X.-C., Canellas E., Dreolin N., Nerin C., Goshawk J. Discovery and characterization of phenolic compounds in bearberry (*Arctostaphylos uva-ursi*) leaves using liquid chromatography–ion mobility–high-resolution mass spectrometry // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021. Vol. 69, no. 37. Pp. 10856–10868. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c02845>.
8. Vilkickyte G., Petrikaite V., Pukalskas A., Sipailiene A., Raudone L. Exploring *Vaccinium vitis-idaea* L. as a potential source of therapeutic agents: Antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory activities of extracts and fractions // *Journal of Ethnopharmacology*. 2022. Vol. 292. Pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115207>.
9. Vilkickyte G., Petrikaite V., Marksa M., Ivanauskas L., Jakstas V., Raudone L. Fractionation and Characterization of Triterpenoids from *Vaccinium vitis-idaea* L. Cuticular Waxes and Their Potential as Anticancer Agents // *Antioxidants*. 2023. Vol. 12, no. 2. Pp. 1–22. <https://doi.org/10.3390/antiox12020465>.
10. Harutyunyan Z.E., Hoveyan Z.H., Zakharyan M.G., Mikayelyan M.N., Vardanian I.V., Sargsyan G.Z. Determination of Bioactive Compounds in *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium uliginosum* L. in Armenia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1212, no. 1. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1212/1/012030>.
11. Государственная фармакопея РФ, XIV изд. ОФС.1.1.0011.15 Хранение лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов. М., 2018.
12. Prieto P., Pineda M., Aguilar M. Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E // *Analytical biochemistry*. 1999. Vol. 269. Pp. 337–341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>.

13. Tsvetov N., Sereda L., Korovkina A., Artemkina N., Kozerozhets I., Samarov A. Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from *Empetrum hermaphroditum* Hager. using acid-based deep eutectic solvent: kinetics and optimization // Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. Vol. 12. Pp. 145–156. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02299-2>.
14. Середя Л.Н., Цветов Н.С. Оптимизация метода ультразвуковой экстракции биологически активных соединений водно-спиртовой смесью из плодов *Vaccinium vitis-idaea* L., произрастающей на Кольском полуострове // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 292–300. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240113108>.
15. Wagner M., Bathke A.C., Cary S.C., Green T.G.A., Junker R.R., Trutschnig W., Ruprecht U. Myco- and photobiont associations in crustose lichens in the McMurdo Dry Valleys (Antarctica) reveal high differentiation along an elevational gradient // Polar Biology. 2020. Vol. 43. Pp. 1967–1983. <https://doi.org/10.1007/s00300-020-02754-8>.
16. Dani R.S., Divakar P.K., Baniya C.B. Diversity and composition of plants species along elevational gradient: research trends // Biodiversity and Conservation. 2023. Vol. 32. Pp. 2961–2980. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02638-3>.
17. Parejo I., Viladomat F., Bastida J., Codina C. Variation of the arbutin content in different wild populations of *Arctostaphylos uva-ursi* in Catalonia, Spain // Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants. 2002. Vol. 9, no. 4. Pp. 329–333. https://doi.org/10.1300/J044v09n04_10.
18. Jaakola L., Määttä-Riihinen K., Kärenlampi S., Hohtola A. Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves // Planta. 2004. Vol. 218. Pp. 721–728. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1161-x>.
19. Lähti A.K., Riihinen K.R., Kainulainen P.S. Analysis of anthocyanin variation in wild populations of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finland // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56, no. 1. Pp. 190–196. <https://doi.org/10.1021/jf072857m>.
20. Lähti A.K., Jaakola L., Riihinen K.R., Kainulainen P.S. Anthocyanin and flavonol variation in bog bilberries (*Vaccinium uliginosum* L.) in Finland // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010. Vol. 58, no. 1. Pp. 427–433. <https://doi.org/10.1021/jf903033m>.
21. Голубева Е.И., Червякова А.А., Шмакова Н.Ю., Зимин М.В., Тимохина Ю.И. Видовые и фитоценоотические особенности пигментного состава растений Севера // Проблемы региональной экологии. 2019. №1. С. 6–12. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-11006>.
22. Asensio E., Viales D., Pérez I., Peralba L., Viruel J., Montaner C., Vallès J., Garnatje T., Sales E. Phenolic compounds content and genetic diversity at population level across the natural distribution range of bearberry (*Arctostaphylos uva-ursi*, *Ericaceae*) in the Iberian Peninsula // Plants. 2020. Vol. 9, no. 9. Article 1250. <https://doi.org/10.3390/plants9091250>.
23. Vilkickyte G., Raudone L. *Vaccinium vitis-idaea* L. fruits: chromatographic analysis of seasonal and geographical variation in bioactive compounds // Foods. 2021. Vol. 10, no. 10. Article 2243. <https://doi.org/10.3390/foods10102243>.

Поступила в редакцию 19 ноября 2024 г.

После переработки 21 декабря 2024 г.

Принята к публикации 9 апреля 2025 г.

Sereda L.N.^{1*}, Koigerova A.A.¹, Tsvetov N.S.¹, Artemkina N.A.² VARIABILITY OF THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE VEGETATIVE ORGANS OF REPRESENTATIVES OF THE *ERICACEAE* JUSS. FAMILY IN THE HIGH-ALTITUDE GRADIENT OF THE CITY OF YUMECHORR OF THE Khibiny MOUNTAIN RANGE

¹ Scientific Center for Medical and Biological Research of Human Adaptation in the Arctic, Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, st. Akademgorodok, 41a, Apatity, 184209, Russia, sundukpandory87@mail.ru

² Institute of Industrial Ecology Problems of the North, Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, st. Akademgorodok, 14a, Apatity, 184209, Russia

Abiotic factors, such as solar radiation, altitude range, hydrothermal regime, chemical composition of the soil, have a significant impact on the accumulation of secondary metabolites. In this regard, the assessment of the variability of the content of biologically active substances by shrubby plants was carried out in the gradient of the southwestern slope of the city of Yumechorr of the Khibiny mountain massif (Murmansk region). The objects of the study were the vegetative organs of plants of the crowberry (*Empetrum hermaphroditum* Hager. (syn.: *Empetrum nigrum* subsp. *hermaphroditum* (Hagerup) Böcher (World Flora Online, id: wfo-0000667247)), bearberry (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng), lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.), bog blueberry (*Vaccinium uliginosum* L.), blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) of the heather family (*Ericaceae* Juss.). The influence of growing conditions on the species diversity and floral similarity of plant belts is noted. The extracts were obtained by maceration with an alcohol-water mixture with a content of 80 vol. % ethanol. The variability of the content of biologically active compounds was analyzed. A high content of polyphenolic components in the vegetative organs of plants has been determined. The absence of a clear linear dependence of the influence of altitude above sea level on the content of phenolic compounds has been established. Extracts of the vegetative organs of the studied plants can be recommended as a promising source of bioactive compounds.

Keywords: *Ericaceae* Juss., altitude gradient, extraction, biologically active substances, Arctic.

For citing: Sereda L.N., Koigerova A.A., Tsvetov N.S., Artemkina N.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 311–319. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250316337>.

References

1. Urbonaviciene D., Bobinaite R., Viskelis P., Viskelis J., Petruskevicius A., Puzeryte V., Cesoniene L., Daubaras R., Klavins L., Bobinas C. *Molecules*, 2023, vol. 28, no. 12. <https://doi.org/10.3390/molecules28124589>.
2. Artomkina N.A., Sukhareva T.A., Ivanova Ye.A., Smirnov V.E. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2023, vol. 68, no. 1, pp. 153–170. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.109>. (in Russ.).
3. Cherepanov S.K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)*. [Vascular plants of Russia and adjacent countries (within the former USSR)]. St. Petersburg, 1995, 990 p. (in Russ.).
4. Ramenskaya M.L. *Analiz flory Murmanskoy oblasti i Karelii*. [Analysis of the flora of the Murmansk region and Karelia]. Leningrad, 1983, 216 p. (in Russ.).
5. Lorion J., Small E. *The Botanical Review*, 2021, vol. 87, no. 3, pp. 259–310. <https://doi.org/10.1007/s12229-021-09248-0>.
6. Bezverkhniaia E.A., Ermilova E.V., Kadyrova T.V., Krasnov E.A., Brazovskii K.S., Ponkratova A.O., Luzhanin V.G., Belousov M.V. Bezverkhniaia E. *Advances in Traditional Medicine*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 659–672. <https://doi.org/10.1007/s13596-021-00612-4>.
7. Song X.-C., Canellas E., Dreolin N., Nerin C., Goshawk J. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, vol. 69, no. 37, pp. 10856–10868. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c02845>.
8. Vilkickyte G., Petrikaite V., Pukalskas A., Sipailiene A., Raudone L. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, vol. 292, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115207>.
9. Vilkickyte G., Petrikaite V., Marksa M., Ivanauskas L., Jakstas V., Raudone L. *Antioxidants*, 2023, vol. 12, no. 2, pp. 1–22. <https://doi.org/10.3390/antiox12020465>.
10. Harutyunyan Z.E., Hoveyan Z.H., Zakharyan M.G., Mikayelyan M.N., Vardanian I.V., Sargsyan G.Z. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1212, no. 1. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1212/1/012030>.
11. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF, XIV izd. OFS.1.1.0011.15 Khraneniye lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya i lekarstvennykh rastitel'nykh preparatov*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV edition. OFS.1.1.0011.15 Storage of medicinal plant materials and medicinal herbal preparations]. Moscow, 2018. (in Russ.).
12. Prieto P., Pineda M., Aguilar M. *Analytical biochemistry*, 1999, vol. 269, pp. 337–341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>.
13. Tsvetov N., Sereda L., Korovkina A., Artemkina N., Kozerozhets I., Samarov A. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2022, vol. 12, pp. 145–156. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02299-2>.
14. Sereda L.N., Tsvetov N.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 292–300. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240113108>. (in Russ.).
15. Wagner M., Bathke A.C., Cary S.C., Green T.G.A., Junker R.R., Trutschnig W., Ruprecht U. *Polar Biology*, 2020, vol. 43, pp. 1967–1983. <https://doi.org/10.1007/s00300-020-02754-8>.
16. Dani R.S., Divakar P.K., Baniya C.B. *Biodiversity and Conservation*, 2023, vol. 32, pp. 2961–2980. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02638-3>.
17. Parejo I., Viladomat F., Bastida J., Codina C. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 2002, vol. 9, no. 4, pp. 329–333. https://doi.org/10.1300/J044v09n04_10.

* Corresponding author.

18. Jaakola L., Määttä-Riihinen K., Kärenlampi S., Hohtola A. *Planta*, 2004, vol. 218, pp. 721–728. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1161-x>.
19. Lätti A.K., Riihinen K.R., Kainulainen P.S. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56, no. 1, pp. 190–196. <https://doi.org/10.1021/jf072857m>.
20. Lätti A.K., Jaakola L., Riihinen K.R., Kainulainen P.S. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 58, no. 1, pp. 427–433. <https://doi.org/10.1021/jf903033m>.
21. Golubeva Ye.I., Chervyakova A.A., Shmakova N.Yu., Zimin M.V., Timokhina Yu.I. *Problemy regional'noy ekologii*, 2019, no. 1, pp. 6–12. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-11006>. (in Russ.).
22. Asensio E., Vitales D., Pérez I., Peralba L., Viruel J., Montaner C., Vallès J., Garnatje T., Sales E. *Plants*, 2020, vol. 9, no. 9, article 1250. <https://doi.org/10.3390/plants9091250>.
23. Vilckickyte G., Raudone L. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 10, article 2243. <https://doi.org/10.3390/foods10102243>.

Received November 19, 2024

Revised December 21, 2024

Accepted April 9, 2025

Сведения об авторах

Середа Лидия Николаевна – младший научный сотрудник, l.sereda@ksc.ru

Койгерова Алёна Алексеевна – научный сотрудник, a.koigerova@ksc.ru

Цветов Никита Сергеевич – кандидат химических наук, научный сотрудник, n.tsvetov@ksc.ru

Артёмкина Наталья Александровна – научный сотрудник, n.artemkina@ksc.ru

Information about authors

Sereda Lidiya Nikolaevna – Junior Researcher, l.sereda@ksc.ru

Koigerova Alena Alekseevna – Researcher, a.koigerova@ksc.ru

Tsvetov Nikita Sergeevich – Candidate of Chemical Sciences, Researcher, n.tsvetov@ksc.ru

Artemkina Natalya Aleksandrovna – Researcher, n.artemkina@ksc.ru